



## Localisation pédestre : Synthèse bibliographique et illustration d'une approche par vision monoculaire embarquée

Wael Elloumi, Rémy Leconge, Eric Royer, Sylvie Treuillet

### ► To cite this version:

Wael Elloumi, Rémy Leconge, Eric Royer, Sylvie Treuillet. Localisation pédestre : Synthèse bibliographique et illustration d'une approche par vision monoculaire embarquée. ORASIS - Congrès des jeunes chercheurs en vision par ordinateur, INRIA Grenoble Rhône-Alpes, Jun 2011, Praz-sur-Arly, France. inria-00595294

**HAL Id: inria-00595294**

**<https://inria.hal.science/inria-00595294>**

Submitted on 24 May 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Localisation pédestre : Synthèse bibliographique et illustration d'une approche par vision monoculaire embarquée

W. Elloumi<sup>1</sup>

R. Leconge<sup>1</sup>

E. Royer<sup>2</sup>

S. Treuillet<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Prisme, Polytech'Orléans, 12 rue de Blois, 45067 Orléans cedex2, France

<sup>2</sup>LASMEA, Université Blaise Pascal Campus des Cézeaux, 63177 Aubière, France

wael.elloumi@univ-orleans.fr

## Résumé

*Se localiser est une des tâches que nous faisons naturellement grâce à notre vue et notre mémoire. Cependant, l'assurer artificiellement demeure un défi pour toute la communauté de la vision par ordinateur.*

*Cette communication présente une revue de la littérature détaillée des systèmes de localisation pédestre et de ses technologies. Dans le contexte de l'assistance à la navigation pédestre des déficients visuels, nous proposons aussi une solution innovante, pour un fonctionnement efficace aussi bien en extérieur qu'en intérieur, fondée sur l'indépendance vis-à-vis de l'équipement collectif.*

## Mots Clefs

Vision par ordinateur, localisation pédestre, assistance à la navigation, déficients visuels.

## Abstract

*Locate our position is one of the tasks we naturally do with our view and our memory. However, ensuring this task in an artificial way is still a challenge for the whole community of computer vision.*

*This paper presents a detailed literature review of pedestrian localization systems and their technologies. In the context of the visually impaired pedestrian navigation assistance, we also present an innovative solution based on the vision localization for both outdoor and indoor navigation. This new solution is established based on the independence of any collective equipment.*

## Keywords

Computer Vision, pedestrian localization, navigation assistance, visually impaired.

## 1 Introduction

Se déplacer est une nécessité vitale pour chaque personne. De tout temps, l'homme a développé des moyens techniques pour faciliter ses déplacements et augmenter son autonomie : depuis la carte et la boussole, les systèmes d'assistance à la navigation ont connu un formidable essor depuis les années 2000 avec l'avènement du GPS (Global Positioning System). Un système d'assistance à la navigation sous-tend de pouvoir se

localiser en continu, de planifier sa trajectoire puis d'être guidé en considérant les obstacles éventuels. Pour un véhicule, le GPS doit être associé à une carte numérique. Le réseau routier a été digitalisé avec une précision de quelques mètres (5 à 20m). Sur cette carte figurent les sens de circulation et aussi les principales infrastructures tels que les parkings, les hôtels, les hôpitaux, les gares, les aéroports, etc. Grâce à cette carte on peut choisir la route qu'on veut emprunter. Si le GPS est le système de référence pour localiser les véhicules roulants, navires ou avions, il ne peut suffire pour la localisation pédestre car sa précision de localisation est trop insuffisante et qu'il est souvent inopérant dans les espaces urbains ou à l'intérieur des bâtiments. D'autres technologies s'appuyant sur des réseaux de balises communicantes (WIFI, Zigbee, RFID...) sont en cours d'expérimentation. Mais à ce jour, aucune n'est encore opérationnelle et la localisation pédestre reste un challenge car la précision, la réactivité et la fiabilité recherchées pour un guidage en continu sont beaucoup plus importantes que pour la robotique.

Dans cet article, nous proposons de faire une synthèse bibliographique des travaux récents menés sur ce sujet. Après une présentation des spécificités de la localisation pédestre vis-à-vis de celle des véhicules ou robots, la section 3 fera une revue non exhaustive des nombreuses applications attendues d'un tel système de navigation pour les piétons. Les technologies utilisées pour la localisation pédestre seront introduites en section 4. La section 5 présentera ensuite un état de l'art des travaux dans le domaine, en distinguant les systèmes autonomes de ceux s'appuyant sur une infrastructure. Enfin, la dernière partie exposera notre approche par vision monoculaire embarquée, avant de présenter nos résultats et de conclure.

## 2 Différence entre la localisation pédestre et la localisation de véhicules ou bien de robots

Contrairement à la localisation de véhicules, la localisation pédestre doit faire face à de nombreux verrous scientifiques et technologiques. Tout d'abord, la précision de localisation doit être accrue pour atteindre de l'ordre de quelques dizaines de centimètres à un mètre. Les cartographies numériques ne sont pas adaptées aux déplacements pédestres car elles contiennent seulement les voies de circulation pour véhicules, sans les passages

piétons. La localisation des personnes doit être opérationnelle aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur des bâtiments, pour assurer des déplacements urbains complets. D'autre part, dans le cas des robots, la navigation s'appuie généralement sur un modèle de mouvement parfaitement maîtrisé. Pour avoir une plus grande précision, le véhicule intègre souvent un gyroscope, qui lui permet de repérer les changements de direction, ainsi qu'un odomètre pour connaître la distance parcourue. Le système procède à un recalage en utilisant des algorithmes de map-matching en confrontant les informations en provenance des capteurs proprioceptifs avec celles de la carte. L'ensemble de ce système permet d'atteindre une précision d'une dizaine de mètres, qui reste raisonnable pour guider le conducteur dans un environnement urbain.

Dans le cas d'un piéton, le système de navigation doit avoir une plus grande réactivité pour faire face aux mouvements plus rapides et moins prévisibles du piéton (ceux d'un robot guidé ou d'un véhicule sont aisément prédictibles). L'entrée dans la boucle de guidage d'un facteur humain non maîtrisable oblige à résister aux cahotements de la marche pédestre et surtout à prendre en compte les mouvements propres du piéton (non prévisibles). A cela vient s'ajouter la difficulté de modéliser le déplacement d'un piéton : à la différence d'une roue, le pas humain peut varier d'une personne à une autre et même pour la même personne selon son état et selon les circonstances. Cette variation peut devenir une source d'erreur non négligeable puisque sur des milliers de pas l'incertitude sur la distance parcourue croît rapidement. Pour tout ce qui précède, s'inspirer et adapter les concepts de la navigation automobile au contexte de la navigation pédestre demeure encore un grand défi.

### **3 Applications de la localisation pédestre**

La localisation pédestre est la dernière arrivée dans le monde de la géomatique, ses domaines d'application sont multiples et variés. A titre non exhaustif, on peut citer les applications militaires, les interventions d'urgence, le tourisme ou le guidage des personnes malvoyantes.

#### **Militaire et interventions d'urgence**

Le GPS était à l'origine un projet de recherche de l'armée américaine dans les années 1960, diffusé ensuite pour des fins civiles. La localisation de ses engins ainsi de chacun de ses soldats est stratégique et représente une importance primordiale pour toutes les armées. Cette capacité est déjà atteinte pour les véhicules mais elle est encore recherchée pour les soldats. Les entités en charge des services d'urgence sont aussi très intéressées par les systèmes de navigation pédestres parce que les données de navigation pourraient améliorer considérablement la sécurité et l'exploitation de leurs agents sur le site d'intervention, en particulier dans les cas où la visibilité est très réduite (fumée). Pour répondre à ce problème, des systèmes de

positionnement et navigation pédestre ont été proposés : pour l'intervention d'urgence des pompiers ou des policiers à l'intérieur des bâtiments [1,2].

#### **Tourisme**

Outre sa fonction première de guidage, un système de localisation mobile pour les piétons permet de délivrer une information ciblée au porteur à un point précis de l'itinéraire, voire même selon une orientation donnée. On peut donc parfaitement imaginer qu'un tel système soit mis en œuvre pour des visites guidées, tout public voyant et non voyant, dans des villes ou des musées. Les moyens actuels de télécommunication mobile autorisent, à terme, un accès interactif à des informations complémentaires sur la cité (points d'intérêts, transports collectifs, etc) par le géo-référencement du parcours sur une cartographie numérique existante : à chaque fois que le touriste passe à côté d'une zone, bâtiment, sculpture intéressante, le système lui donne les informations qui se voient intéressantes ou utiles.

#### **Guidage des aveugles**

Les personnes déficientes visuelles sont en attente d'outils de navigation et de guidage fiables pour faciliter et sécuriser leurs déplacements quotidiens pour une bonne intégration sociale (évitement des obstacles, guidage). L'accessibilité universelle des bâtiments imposée par la loi Handicap de 2005 est loin d'être acquise. Remplacer les outils de guidage traditionnel (chien guide) et de détection d'obstacles (cane blanche) demeure une ambition, qui s'agrandit tous les jours avec le progrès technologique. La spécificité d'une assistance aux déplacements des personnes malvoyantes est de pouvoir les guider tout au long du trajet par rapport à un itinéraire de référence. Ce guidage nécessite d'avoir accès à la position et à l'orientation instantanées du piéton avec une quasi continuité (grande fréquence). Plusieurs travaux de recherche et systèmes, dont le nôtre, ont été proposés dans ce cas d'application afin d'assister la navigation des personnes malvoyantes dans les environnements inconnus [3], [4], [5], [6]. Des projets européens ont été proposés, dans ce cadre, comme le projet CASBLiP qui a abouti à la définition d'un système de traduction visuo-auditive, et d'autres qui sont encore en cours comme HAPTMAP (Haptic, Audio and Visual Interfaces for Maps and Location Based Services) et NAVIG (Navigation Assistée par Vision artificielle et Gnss) qui ont pour objectif d'augmenter l'autonomie des déficients visuels.

Chaque application de cette liste non exhaustive possède des exigences à respecter en termes de précision, temps de latence, réactivité, coût, environnement, etc. Sur le marché, il existe différentes technologies qui peuvent répondre aux besoins de ces applications. Mais pour faire le bon choix, il faut, tout d'abord, connaître les avantages et les inconvénients de chacune. Dans ce qui suit nous allons présenter ces différentes technologies.

## 4 Principales technologies utilisées pour la localisation

Avant de faire l'état de l'art de la localisation pédestre, cette section propose un panorama des technologies utilisées. La plupart s'appuient sur des systèmes communicants ou des capteurs déjà utilisés dans la navigation automobile. On peut distinguer deux catégories. La première met en œuvre un bouquet d'émetteurs ou balises et un récepteur (GPS, UWB, Wifi, Bluetooth, RFID, etc). La seconde s'appuie sur un ou plusieurs capteurs autonomes (MEMS, caméra, etc) sans dépendance à l'infrastructure.

### 4.1 Systèmes communicants

Le **GPS** (Global Positioning System) est un système qui offre le service de positionnement civil avec une précision de 5 à 15m. Il comprend au moins 24 satellites orbitant à 20200 km d'altitude. Ces satellites transmettent régulièrement les informations nécessaires au calcul de leur position au récepteur, qui peut, grâce à la connaissance de la distance qui le sépare des satellites, connaître ses coordonnées. Une des améliorations du GPS, qui a été proposée afin d'augmenter sa précision, est le GPS différentiel (en anglais Differential Global Positioning System : DGPS). Ce dernier utilise un réseau de stations fixes de référence qui transmet l'écart entre les positions indiquées par les satellites et leurs positions réelles connues. En recevant la différence entre les pseudo-distances mesurées par les satellites et les véritables pseudo-distances, le récepteur peut corriger ses mesures de positions. Mais cela n'apporte pas de solutions pour les inconvénients du GPS à savoir : la non opérabilité à l'intérieur des bâtiments, la dépendance à l'infrastructure ainsi que la manque de précision qui reste toujours faible même avec le DGPS pour la localisation pédestre.

L'**Ultra Wide Band (UWB)** a été développé en 1960 pour des applications radars utilisant une communication sans fil. C'est une technique de modulation radio qui est basée sur la transmission d'impulsions de très courte durée, souvent inférieure à la nanoseconde. L'UWB peut être utilisé pour la communication comme il peut être utilisé pour le positionnement de mobiles aussi : les récepteurs, qui sont répartis dans l'environnement, peuvent évaluer la distance des balises UWB, situées sur les mobiles, par mesure du temps de propagation des signaux émis par ces balises, ce qui permet au système de calculer la position des mobiles par triangulation.

Le **Bluetooth** ou standard IEEE 802.15, est un protocole de communication à courte portée de données. Il utilise une technique radio courte distance destinée à simplifier les connexions entre les appareils électroniques. La position d'un appareil mobile à l'aide de cette technologie est considérée comme le même que la cellule individuelle qu'il est en communication avec. L'inconvénient majeur d'un tel système de localisation c'est que sa précision

dépend fortement du nombre de cellules installées et de leurs tailles.

Le **Wifi**, aussi connu sous le nom du standard IEEE 802.11 est un protocole de communication qui est plus sophistiqué que le Bluetooth. La localisation par Wifi ressemble à celle par Bluetooth : elle approxime la position de la personne en se basant sur certaines caractéristiques de la propagation des signaux. L'inconvénient de la localisation par Wifi c'est qu'elle dépend d'une infrastructure relativement coûteuse dans l'endroit où on veut assurer le suivi d'une personne.

Une des applications des **ultrasons** (onde mécanique et élastique, diffusée par un objet ou un corps dont la fréquence est supérieure à 20 000 Hz) est la localisation d'un mobile : le récepteur fixé sur le mobile à localiser reçoit les ultrasons émis par plusieurs émetteurs, la différence des temps d'arrivée des signaux ultrasons lui permet d'estimer la distance qui le sépare aux émetteurs. En répétant cette même mesure avec plusieurs émetteurs, on détermine précisément la position du mobile (qui est celle du récepteur) dans l'environnement.

Le rayonnement infrarouge (**IR**), rayonnement électromagnétique, a été exploité dans plusieurs utilisations comme le chauffage, la vision nocturne, la communication, le contrôle d'authenticité de billets de banque, les détecteurs d'intrusions, etc. Il a été utilisé également pour la localisation : tout comme la localisation à ultrason, on se sert de la communication entre les émetteurs et le récepteur à infrarouge pour assurer la localisation.

La radio-identification connu sous l'acronyme **RFID** (en l'anglais Radio Frequency IDentification) est une méthode d'identification automatique qui permet de mémoriser et de récupérer des données à distance en utilisant des marqueurs appelés « radio-étiquettes ». Ces radio-étiquettes, qui peuvent être implantées sur des objets ou même sur des corps humains, disposent d'une antenne et d'une puce électronique pour recevoir et répondre aux requêtes radio émises depuis l'émetteur-récepteur. Un système de localisation pédestre basé sur la RFID permet de fournir la position de la personne lorsque cette dernière passe à côté d'une radio-étiquette.

### 4.2 Capteurs

Les systèmes micro électromécaniques est la traduction française de l'acronyme anglais **MEMS**. Ils sont caractérisés par leur structure micrométrique et assurent la fonction de capteur et/ou d'actionneur. Les capteurs qui utilisent cette technologie sont généralement les accéléromètres, les magnétomètres, les gyroscopes ou les baromètres. L'avantage des MEMS c'est qu'ils sont indépendants de toute infrastructure et ils sont fonctionnels dans tout environnement que ce soit à l'intérieur ou bien à l'extérieur. Cependant, leur inconvénient majeur c'est que leur performance est affectée par de nombreuses erreurs (biais et bruit) qui

s'accumulent rapidement au cours du temps. Pour cette raison ils sont généralement couplés avec d'autres technologies pour assurer une localisation fiable.

La **caméra** est un appareil électronique dont sa fonction principale est la prise de vues et/ou de séquences vidéo, mais qui peut être exploitée pour assurer la localisation pédestre aussi : grâce à une caméra embarquée et une cartographie, il est possible d'obtenir une localisation et une orientation instantanées et précises du porteur le long d'un itinéraire, à quelques dizaines de centimètres ou de degrés près. La cartographie peut être préenregistrée sur une mémoire visuelle comme elle peut être construite au fur et à mesure de l'avancement dans l'environnement. Cette technique s'appelle la localisation par vision artificielle.

## **5 Revue des travaux sur la localisation pédestre**

La diversité des domaines d'applications ainsi que les technologies utilisées dans la localisation pédestre a entraîné aussi une multiplicité dans les systèmes qui ont été proposés dans la littérature à ce propos. Principalement deux approches sont utilisées dans les systèmes de localisation pédestre : les systèmes avec exploitation d'un réseau de balises ou les systèmes autonomes.

### **5.1 Systèmes de localisation dépendants d'une infrastructure**

On trouve dans cette première famille les systèmes de localisation utilisant des réseaux de capteurs ou balises comme les réseaux satellitaires (GPS) ou les réseaux locaux existants (Wifi, GSM) ou balises radiofréquence (RFID). Un tel système de localisation coûte cher car il demande l'installation d'une infrastructure bien déterminée dans tous les régions où on veut assurer la localisation avec une précision suffisante. Et d'ailleurs c'est pour cela que la plupart de ces méthodes ont été testés seulement à l'intérieur des bâtiments.

Drishti est un système de navigation pédestre proposé, par une équipe de jeunes chercheurs [3] de l'Université de Floride à Gainesville, pour guider les déficients visuels au cours de leurs déplacements au cœur du campus ou bien à l'intérieur de ses bâtiments.

Ce dispositif associe le GPS différentiel (DGPS) à un Système d'Information Géographique (SIG), pour la localisation à l'extérieur [7] et utilise un système de positionnement ultrason pour la localisation à l'intérieur : le récepteur est composé de 2 balises attachées aux épaules de l'utilisateur alors que les émetteurs se sont 4 pilotes ultrasons montées dans les quatre coins du bâtiment, pour fournir les mesures de la localisation de la personne. Pour la localisation à l'intérieur, les résultats montrent que sur 22 tests, qui ont été menés dans différentes localisations, l'erreur maximale enregistrée a

été 22cm avec 12 cas inférieurs à 10cm de la position réelle.

Un système de localisation à infrarouge a été proposé par [8]. Il comporte trois unités principales : un gilet qui contient une grille de 4\*4 micromoteurs pour délivrer des signaux de guidage haptiques sur le dos de l'utilisateur, un ordinateur portable pour la planification d'itinéraire et un récepteur et des émetteurs à infrarouge pour localiser la personne. Pour une détection consistante des rayonnements infrarouge, les émetteurs ont été montés de telle façon qu'ils couvrent toute la trajectoire à parcourir et le récepteur IR a été tenu en hauteur pour que les signaux IR puissent être facilement détectés. Ce système a été testé par 12 étudiants âgés de 19 à 30. Ils l'ont utilisé pour parcourir 4 différentes trajectoires à l'intérieur du laboratoire. Les résultats ont montré que chaque trajectoire nécessite en moyenne 1.5 minutes de parcours et que le nombre moyenne d'erreurs pour chaque individu et pour chaque trajectoire varie de 0 à 3 erreurs.

D'autres travaux se sont servis des RFID pour créer un réseau de communication et par conséquence assurer la localisation pédestre. Une approche de navigation à l'intérieur des bâtiments pour les malvoyants a été présentée par [4], [9], [10]. Ces derniers se sont inspirés de la navigation par chien guide pour le développement de leur système de navigation pédestre baptisé « RG ». Ce système est composé d'une plateforme robot Pioneer 2DX, d'un toolkit de navigation, d'un récepteur RFID et des radio-étiquettes pour la localisation. La plateforme robotique est rattachée au bout d'une laisse, comme un substitut à un chien-guide. Cette plateforme possède 3 roues et 16 sonars ultrasons, 8 en avant et 8 en arrière. Le toolkit de navigation comprend un ordinateur portable qui est connecté au microcontrôleur du robot via un câble USB afin de le guider. L'ordinateur portable est connecté aussi à un récepteur RFID pour assurer la localisation du robot guide. Ce prototype a été testé par 5 déficients visuels, dont 3 sont complètement aveugles et 2 qui pouvaient seulement percevoir la lumière, à l'intérieur de deux bâtiments inconnus pour eux. Tous les participants ont parvenus à atteindre leurs destinations mais ils se sont plaints de la lente vitesse de RG, 0.5 m/s alors que la vitesse de marche normale varie de 1.2 à 1.5 m/s, ainsi que de ses mouvements saccadés. En outre, ce prototype ne parvient pas à détecter les blocages de route.

### **5.2 Systèmes de localisation autonomes**

A la différence de la première famille, ce type de systèmes de localisation ne nécessite aucune infrastructure existante. Il repose généralement sur un système de navigation pédestre (PNS) porté par la personne qui est indépendant des régions dans lesquelles on veut assurer la localisation ou bien le suivi. Ce PNS peut être couplé avec une base de données cartographique des régions ou bien des bâtiments [11]. Ces derniers s'inspirent de la théorie des graphes et créent un modèle

lien/nœud pour la construction de la carte du bâtiment. Ensuite, ils calculent la position de la personne grâce à un module de navigation pédestre développé au sein du laboratoire de l'EPFL (École polytechnique fédérale de Lausanne) [12]. Le PNS comporte un récepteur GPS, un compas magnétique numérique, un gyroscope, un baromètre et des algorithmes embarqués DR (dead reckoning). Tous les capteurs sont installés dans une petite boîte pour qu'il puisse être fixé à la ceinture sans gêner son utilisateur. Les résultats préliminaires de ce prototype étaient encourageants mais son utilisation est restreinte puisque il est destiné seulement aux cas d'application à l'intérieur des bâtiments.

Un système de localisation humaine pour les déficients visuels à l'intérieur des bâtiments a été récemment proposé par [5]. Ce système consiste à un odomètre monté au pied de l'utilisateur, pour mesurer sa vitesse, et à une canne blanche sur laquelle sont attachés deux capteurs : un gyroscope 3-axes et un scanner laser pour estimer précisément l'attitude de la canne. Les informations provenant des 3 capteurs sont fusionnées en deux étapes pour l'estimation de la pose de l'utilisateur. La première étape utilise les mesures inertielles du gyroscope 3-axes et les mesures de l'orientation relative du scanner laser afin d'estimer avec précision l'attitude de la canne blanche. La deuxième étape estime la position de la personne détenant la canne, en intégrant les mesures de la vitesse linéaire de l'odomètre, une version filtrée de l'estimation du mouvement de la canne, et les primitives (des coins) extraites par le scanner laser.

Une équipe de l'EPFL [1] a proposé aussi une solution de navigation pédestre presque auto-déployable destinée aux interventions d'urgence. Elle consiste en une hybridation entre des capteurs MEMS et des balises d'identification à fréquences radio RFID afin d'augmenter la précision et la robustesse du système.

Tous les systèmes cités, dans les deux approches, présentent soit des limitations de précision (GPS, MEMS), ou bien de portée c'est-à-dire ils ne peuvent pas être utilisés à la fois à l'intérieur et à l'extérieur (GPS), soit des coûts d'installation élevés (RFID, Infrarouge). Face à ces limitations, la vision est une solution alternative pour une localisation précise à l'intérieur comme à l'extérieur par un système autonome bas-coût.

Dans la littérature il existe principalement deux approches pour traiter le problème de localisation par vision : la localisation sans à priori ou la localisation s'appuyant sur une connaissance préalable de l'environnement (SLAM).

### **5.2.1 Cartographie et Localisation Simultanées (SLAM)**

Cette approche, connue en anglais sous le nom de SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) ou CML (Concurrent Mapping and Localization), a été développée pour la navigation de robots ou véhicules autonomes, placés dans un environnement inconnu. Au fur et à

mesure des observations, la carte de l'environnement est enrichie par de nouvelles primitives, sur lesquelles s'appuie la localisation, et la position des anciennes primitives est affinée en tenant compte des nouvelles observations.

Cette approche a été utilisée avec des sonars [13] et [14] ou des télémètres [15] et [16] dans des environnements intérieurs et, plus récemment, avec des radars en extérieur [17] et [18]. L'approche SLAM a plus récemment été appliquée à la stéréovision [19] avec des primitives visuelles robustes aux transformations d'échelle (SIFT) pour un robot qui évolue sur un plan. Néanmoins, la mise en place d'un tel algorithme en temps-réel est difficile, vu le temps de calcul pour détecter et apparier les primitives dans les images qui s'ajoute à la gestion de la carte. Une solution est de coupler vision et odométrie pour obtenir des temps de calcul plus raisonnables. Récemment, une approche de SLAM monoculaire en temps réel, combinant un filtre à particules et un filtre de Kalman étendu (EKF) a été présentée dans [20] et [21] et par la suite améliorée dans [22] et [23]. Une implémentation de l'algorithme de SLAM sur la caméra d'un Smartphone a été présentée dans [24]. Ces approches restent donc confinées à des espaces restreints et posent des problèmes dans le cas de la marche pédestre par l'absence d'un modèle de mouvement fiable. Parmi les solutions envisagées pour pallier à ces inconvénients on peut citer la fusion multi capteurs.

### **5.2.2 Cartographie préenregistrée (mémoire visuelle)**

La cartographie qui est la partie la plus complexe en termes de temps de calcul peut être traitée hors ligne. Une reconstruction 3D partielle de l'environnement peut être calculée à partir d'une séquence vidéo enregistrée le long de la trajectoire à suivre. Une fois cette « mémoire visuelle » stockée, la localisation peut s'effectuer en temps réel par l'estimation de la pose de la caméra (6Dof). C'est l'approche retenue pour la suite de nos travaux. Il est possible aussi de faire la cartographie en utilisant la vision seule ou en couplant la vision avec un ou plusieurs autres capteurs.

Par exemple, [25] utilisent une caméra placée sur une plateforme rotative ainsi qu'un télémètre laser pour construire un ensemble d'images panoramiques enrichies de l'information de profondeur fournie par le télémètre. [26] construisent également une carte 3D à partir d'un capteur trinoculaire et d'un odomètre. Cette carte contient la position des lignes verticales observées durant la phase d'apprentissage. Une approche différente de construction de carte 3D a été proposée par [27]. La caméra est placée sur un véhicule de façon à voir sur le côté de la route. A partir de ces vues, une segmentation des mouvements permet de différencier les façades des différents bâtiments qui sont classés selon la distance à la caméra.

	Méthode	Technologie(s)	Tests et résultats présentés
Systèmes dépendants	Drishti [3]	DGPS et ultrason	Une précision de 22cm sur des trajets intérieurs et extérieurs
	[8]	IR	De 0 à 3 erreurs par trajet intérieur de 50 à 71 pieds (de 15 à 21.3m)
	RG [4, 9, 10]	RFID et ultrason	Trajet intérieur de 40m
	[1]	MEMS et RFID	Une précision de 5m à l'intérieur d'un bâtiment de 225*125 m
Systèmes autonomes	[11]	MEMS et carte du bâtiment	Pas de décrochages si l'utilisateur se déplace au milieu du couloir
	[5]	MEMS	Une précision de 16cm sur un trajet intérieur de 130m
	[23]	Vision monoculaire	Trajet extérieur d'environ 250m
	[26]	Vision trinoculaire et odométrie	Une précision de 3 à 5 cm sur un trajet intérieur de 10m
	[6]	Vision monoculaire	Une précision de 20cm à 66cm sur des trajets intérieurs de 70m et extérieurs de 150m

Tableau 1 comparaison des méthodes de localisation pédestre

Dans cette section, nous avons présenté des systèmes et des méthodes de la littérature qui ont été proposés dans le cadre de la localisation pédestre. Le tableau 1 présente une comparaison de ces systèmes. La section suivante sera consacrée à l'illustration de notre approche de localisation.

## 6 Méthode de localisation pédestre par vision monoculaire embarquée

L'approche que nous avons adoptée tire partie des progrès récents de la navigation par vision artificielle dérivée de la robotique mobile (odométrie visuelle): grâce à une caméra embarquée et une cartographie préenregistrée, il est possible d'obtenir une localisation et une orientation instantanées et précises du porteur de la caméra le long d'un itinéraire, à quelques dizaines de centimètres près. La cartographie 3D de l'environnement est obtenue à partir d'une séquence vidéo acquise lors d'un parcours préalable de l'itinéraire de référence puis traitée hors ligne de façon automatique par un ordinateur. Elle utilise des points singuliers naturels existants dans la scène et détectés automatiquement dans les images (points anguleux sur bâtiments, portes, fenêtres, panneaux, arbres, etc). Cette phase d'apprentissage est réalisée une seule fois pour chaque itinéraire.

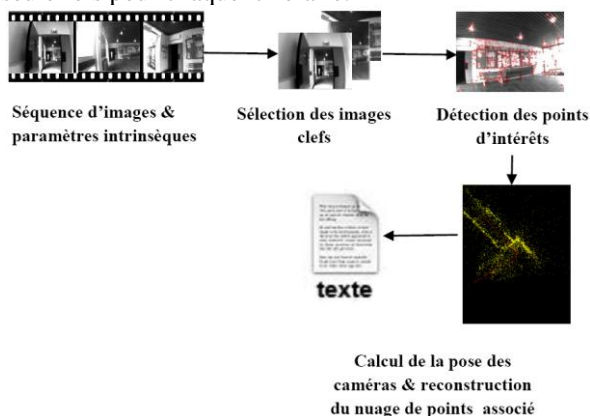


Figure 1 Phase d'apprentissage

La quantité de données stockées dans cette mémoire visuelle est limitée : elle comporte les positions de quelques images clefs sélectionnées et les caractéristiques des marqueurs 3D retenus (points singuliers naturels détectés dans la scène) comme le montre la figure 1. Dans la figure 2, on peut remarquer que la cartographie obtenue (les poses des caméras sont représentées par les carrés cyan et le nuage de points 3D reconstruits est représenté en bleu) comprend des formes géométriques de la scène filmée ainsi que la trajectoire parcourue.

Dans la phase de localisation, lorsque l'on se déplace sur le même parcours, la pose de la caméra est automatiquement calculée en mettant en relation les points extraits dans chaque nouvelle image avec les marqueurs de la mémoire visuelle (cartographie 3D de l'environnement). La figure 2 présente un exemple de localisation (La pose et l'orientation de la caméra courante sont représentées en magenta). Cette technique de localisation par vision monoculaire a fait ses preuves en robotique mobile. C'est pour cela nous avons envisagé sa transposition vers la navigation pédestre. En l'association avec une interface de guidage efficace, cette technique devrait permettre la réalisation d'un système individuel portatif à bas coût permettant d'accroître considérablement la mobilité et la sécurité des déficients visuels. Son grand avantage est de s'affranchir totalement d'un aménagement des espaces publics. Elle présente de sérieux atouts par rapport aux actuels récepteurs GPS : plus précise, elle est efficace aussi bien en extérieur qu'en intérieur et délivre en plus de la position, la direction de cheminement (par le calcul de pose de la caméra, on récupère les 6 degrés de liberté, dont l'axe visé). Tout au long du trajet, nous avons ainsi accès en continu à la position et à l'orientation instantanées du porteur de la caméra par rapport à l'itinéraire de référence ce qui facilite son guidage

## 7 Résultats

Notre prototype expérimental comporte un PC portable (Intel Core 2 Duo 2.66GHz et 4096MB de RAM) et une



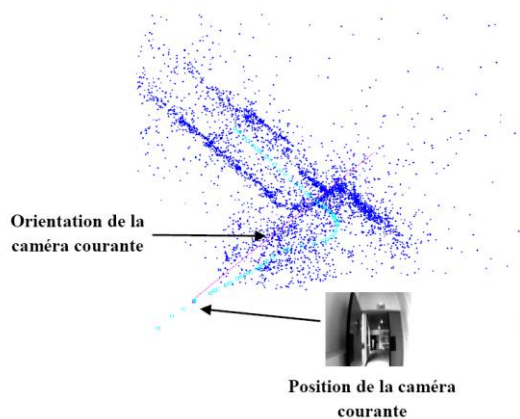


Figure 2 Phase de localisation

caméra AVT GUPPY F-033C équipée d'un objectif de 3.5mm. Les paramètres intrinsèques de la caméra sont connus puisque elle a été préalablement calibrée. Les images sont acquises avec une résolution de 320\*240 sous une cadence de 25 FPS. Notre algorithme est capable de traiter jusqu'à 4 FPS. Cette cadence est suffisante pour assurer la localisation pédestre en temps réel. Notre approche a été testée hors ligne en rejouant la même séquence d'apprentissage. La trajectoire de référence est représentée dans la figure 2. Elle est constituée de 58 images clefs et de 4566 points reconstruits. La localisation dans ce cas, avec la même séquence d'apprentissage, est parfaite (pas de décrochages par rapport à la trajectoire de référence). Nous avons testé aussi la sensibilité de notre algorithme aux occultations et aux changements qui peuvent survenir sur la scène. Pour une séquence « seq\_hall » constituée de 921 images, en présence de personnes dans la scène, la position de la caméra courante reste toujours rattachée à la trajectoire de référence comme le montre la figure 3. Notre méthode a été testée également en ligne. La trajectoire de référence de la séquence utilisée « seq\_lab » est représentée dans la figure 4. Elle est constituée de 37 images clefs et de 2291 points reconstruits.

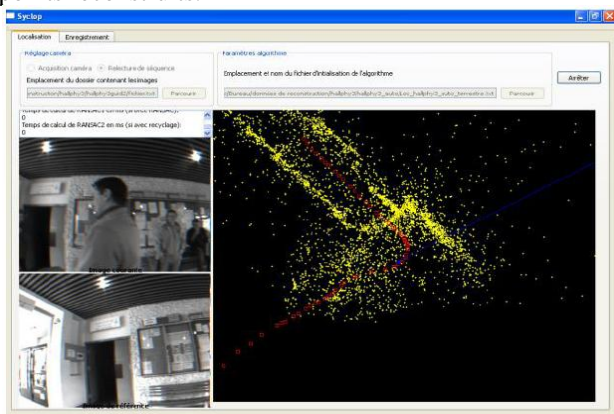


Figure 3 Exemple de localisation avec « seq\_hall »

Durant le parcours de la trajectoire de référence en ligne, 142 images du flux vidéo ont été traitées. Toutes les images ont permis une localisation par rapport à la trajectoire référence dont 120 images sont bien localisées et 22 images ont été localisé avec une pose un peu éloignée de la trajectoire de référence. Ceci est dû aux mouvements rapides et brusques de la caméra, qui influencent beaucoup l'étape de la mise en correspondance des primitives, ou être lié aux déviations à la trajectoire réelle par rapport à celle de référence (on ne peut pas parcourir exactement la même trajectoire de la séquence d'apprentissage).

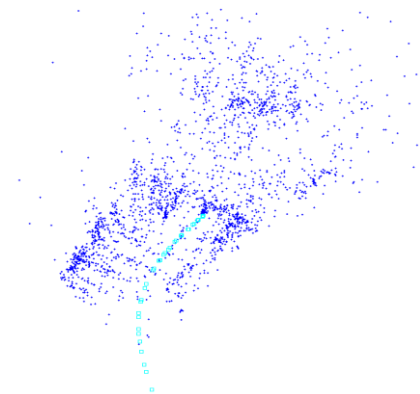


Figure 4 Trajectoire de référence de la séquence « seq\_lab »

## 8 Conclusion

L'étude bibliographique présentée nous a permis de mettre en avant les avantages et les inconvénients des différentes technologies utilisées pour la localisation pédestre et par conséquent de sélectionner celle qui répond à nos objectifs.

Nous avons présenté également une illustration de notre prototype de localisation pédestre. Ce dernier peut être utilisé à l'extérieur et à l'intérieur et il est indépendant de tout équipement collectif.

Le point critique de notre système c'est qu'il n'est pas encore robuste aux mouvements brusques et rapides.

## Remerciements

Cette étude est soutenue par l'entreprise HERON Technologies (France) et le conseil général du Loiret.

## Bibliographie

- [1] Renaudin V., Yalak O., Tomé P., and Merminod B., Indoor Navigation of Emergency Agents, European Journal of Navigation, Vol 5(3), pp. 36-45, 07/2007.
- [2] Gay Bellile V., Tamaazousti M., Dupont R., Naudet Collette S., A vision-based hybrid system for real-time accurate localization in an indoor environment, International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), 18-21 May 2010.
- [3] Ran L., Helal S., Moore S., "Drishti: An Integrated Indoor/Outdoor Blind Navigation System and



- Service", Second IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'04), pp. 23, 2004.
- [4] Kulyukin V., Gharpure C., Nicholson J. and Pavithran S., "Rfid in robotassisted indoor navigation for the visually impaired", in Proceedings of the 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Sep. 28-Oct. 2 2004.
  - [5] Hesch J.A., Roumeliotis S.I. "An Indoor Localization Aid for the Visually Impaired", In Proc. 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'07), Apr. 2007.
  - [6] Treuillet S., Royer E., Chateau T., Dhôme M., Lavest J., Body mounted vision system for visually impaired outdoor and indoor wayfinding assistance, CVHI, 2007.
  - [7] Helal A., Moore S., and Ramachandran B., "Drishti: An Integrated Navigation System for Visually Impaired and Disabled", Proceedings of the 5th International Symposium on Wearable Computer, October 2001.
  - [8] Ertan S., Lee C., Willets A., Tan H., and Pentland A., "A wearable haptic navigation guidance system," in Proc. Second International Symposium on Wearable Computers, pp. 164–165, 1998.
  - [9] Kulyukin V., Gharpure C., Sute P., Graw N. D. and Nicholson J., "A robotic wayfinding system for the visually impaired", in Proceedings of the Sixteenth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference (IAAI-04), 2004.
  - [10] Kulyukin V., Sute P., and Graw N. D., "Human-robot interaction in a robotic guide for the visually impaired," in Proc. of the AAAI Spring Symposium on Interaction between Humans and Autonomous Systems over Extended Operation, March 2004.
  - [11] Gilliéron PY., Daniela Büchel D., Spassov I., Merminod B., Indoor Navigation Performance Analysis, ENC GNSS, 2004.
  - [12] Ladetto Q., Merminod B., Digital Magnetic Compass and Gyroscope Integration for Pedestrian Navigation, 9th St-Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, 2002.
  - [13] Leonard J.J. & Durrant-Whyte H.F., Simultaneous map building and localization for an autonomous mobile robot, In IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems, 1991.
  - [14] Wijk O. & Christensen H.I., Triangulation Based Fusion of Sonar Data for Robust Robot Pose Tracking, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 16, pp 740–752, 2000.
  - [15] Moutarlier P. & Chatila R., Incremental free-space modeling from uncertain data by an autonomous mobile robot, In International Workshop on Intelligent Robots and Systems, pp. 1052–1058, Nov. 1991.
  - [16] Thrun S., Burgard W. & Fox D., A Real-Time Algorithm for Mobile Robot With Applications to Multi-Robot and 3D Mapping, In IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2000.
  - [17] Guivant J. & Nebot E., Optimization of the Simultaneous Localization and map Building Algorithm for Real Time Implementation, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 17, pp. 242–257, June 2001.
  - [18] Dissanayake G., Newman P. M., Durrant-Whyte H-F., Clark S. & Csorba M., A solution to the simultaneous localization and map building (SLAM) problem, IEEETransaction on Robotic and Automation, Vol. 17, pp. 229–241, May 2001.
  - [19] Se S., Lowe D. & Little J., Local and Global Localization for Mobile Robots using Visual Landmarks, In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 414–420, October 2001.
  - [20] Davison A. J., Real-Time Simultaneous Localisation and Mapping with a Single Camera, In 9th International Conference on Computer Vision, pp. 1403-1410, October 2003.
  - [21] A. J. Davison, N. D. Molton, I. Reid, and O. Stasse., MonoSLAM:Real-time single camera SLAM, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), Vol. 29(6), pp. 1052–1067, 2007.
  - [22] H. Strasdat, J. M. M. Montiel, and A. J. Davison, Real-time monocular SLAM: Why filter?, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2010.
  - [23] Hauke Strasdat, J. M. M. Montiel, and Andrew J. Davison, Scale Drift-Aware Large Scale Monocular SLAM, Robotics: Science and Systems, 2010.
  - [24] G. Klein and D. W. Murray, Parallel tracking and mapping on a camera phone, In Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2009.
  - [25] Cobzas D., Zhang H., and Jagersand M., Image-based localization with depth-enhanced image map, In International Conference on Robotics and Automation, 2003.
  - [26] Ohya A., Miyazaki Y., and Yuta S., Autonomous navigation of mobile robot based on teaching and playback using trinocular vision, In IEEE Industrial Electronics Conference, 2001.
  - [27] Li S. and Tsuji S., Qualitative representation of scenes along a route, Image and Vision Computing, Vol. 17, pp. 685-700, 1999.